

# 基于连续油管技术的井下作业风险评估

倪庆怀 刘中策 王冬

渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300280

**摘要：**本文深入探讨了基于连续油管技术的井下作业风险评估。连续油管技术以其高效性和灵活性，在超深井作业中发挥着重要作用。然而，该技术在实际应用中面临着多种潜在风险。本文旨在通过系统识别、科学评价及有效控制这些风险，为连续油管技术的安全应用提供理论支持和实践指导。通过综合分析井下作业中的风险因素，本文提出了针对性的风险控制措施，旨在确保连续油管技术在超深井作业中的安全、高效运行，为石油工业的发展贡献力量。

**关键词：**连续油管技术；井下作业；风险评估；风险控制

引言：随着油气资源的不断开发，超深井的开采逐渐成为未来的发展趋势。连续油管技术以其作业效率高、安全性高、对井壁损伤小等特点，在超深井中得到了广泛应用。然而，井下作业环境复杂多变，连续油管技术在实施过程中也面临着诸多风险。因此，对基于连续油管技术的井下作业进行风险评估，对于确保作业安全、提高作业效率具有重要意义。

## 1 连续油管技术井下作业概述

连续油管技术，作为现代油气田开发中一项高效、灵活的井下作业技术，正逐步成为众多石油工程师和作业团队的首选。这项技术以其独特的连续油管为核心，通过一系列精密的操作和控制，实现了在复杂地质环境下的高效作业。

### 1.1 连续油管技术的核心特点

连续油管技术的核心在于其使用的连续油管。与传统的钻井、修井方法相比，连续油管不再是由多段短管拼接而成，而是一根长度可达数千米的连续钢管。这根钢管被卷绕在特制的钢盘上，便于运输和存储。在作业时，通过专用的注入头将油管缓缓送入井下，直至达到预定的作业深度。这种设计不仅简化了作业流程，还大大提高了作业效率。

### 1.2 连续油管技术的广泛应用

连续油管技术因其独特的优势，被广泛应用于多种井下作业中。在压裂作业中，连续油管可以精确地控制压裂液的注入量和压力，确保压裂效果的最大化<sup>[1]</sup>。在酸化作业中，连续油管则能够准确地输送酸液，清除井下的堵塞物，恢复油井的产能。此外，连续油管技术还常用于清井、测井等作业，为油气田的稳产增产提供了有力保障。

### 1.3 连续油管技术在超深井中的独特优势

在超深井作业中，连续油管技术更是展现出了其无可比拟的优势。由于超深井的地质条件复杂，传统作业方法往往面临诸多挑战。而连续油管技术则凭借其出色的柔韧性和可操控性，轻松应对这些挑战。它能够在狭窄的井眼中灵活穿梭，准确到达作业目标。同时连续油管还能够承受极高的井下压力和温度，确保作业的安全和稳定。此外，连续油管技术还大大缩短了作业周期，降低了作业成本，为超深井的开发提供了强有力的技术支持。

## 2 井下作业风险评估方法

井下作业，作为石油、天然气等能源开采的关键环节，其复杂性和危险性不容忽视。为了确保作业安全，降低事故发生的概率，进行系统的风险评估显得尤为重要。井下作业风险评估方法是一套科学、系统的流程，旨在识别、分析和控制作业过程中可能遇到的各类风险。

### 2.1 事故统计和分析

事故统计和分析是井下作业风险评估的基础。通过对历史事故数据的收集、整理和分析，可以揭示事故发生的规律、原因和趋势，从而为当前和未来的作业提供警示和借鉴。这种方法的关键在于数据的准确性和完整性，以及分析的深度和广度。通过统计分析，可以识别出高风险作业环节和易发事故类型，为制定针对性的预防措施提供依据。

### 2.2 井下风险评估表

井下风险评估表是一种结构化的风险评估工具，通过预先设定的评估项目和评分标准，对井下作业中的各项风险进行量化评估<sup>[2]</sup>。这种方法具有操作简便、易于推广的特点。评估表通常包括作业类型、风险源、风险等级、可能后果、预防措施等要素。通过填写评估表，可以直观地了解作业过程中的风险分布和严重程度，为决策层提供有力的数据支持。

### 2.3 任务分析

任务分析是对井下作业任务进行细致分解和描述的过程,旨在明确每个任务环节中的潜在风险。通过对作业流程的详细梳理,可以识别出各个步骤中的危险点和风险源,进而制定针对性的风险控制措施。任务分析要求评估人员具备丰富的井下作业经验和专业知识,以确保分析的准确性和全面性。

### 2.4 工作组讨论

工作组讨论是一种集体评估方法,通过组织相关专业人员、安全管理人员和一线员工共同参与讨论,共同识别和分析井下作业中的风险。这种方法能够充分利用集体智慧和经验,提高风险评估的全面性和准确性。讨论过程中,应鼓励大家积极发言,提出不同意见和建议,以便形成更加完善的风险评估结果。

### 2.5 现场观察和检查

现场观察和检查是井下作业风险评估的直观手段。通过实地查看作业现场、观察作业过程、检查设备设施等方式,可以直接发现作业中的安全隐患和风险点。这种方法要求评估人员具备敏锐的观察力和丰富的实践经验,以便及时发现问题并采取措​​施加以解决。

### 2.6 使用风险评估工具

随着科技的进步,越来越多的风险评估工具被应用于井下作业风险评估中。这些工具通常基于先进的算法和模型,能够对作业过程中的风险进行更加精确和量化的评估。使用风险评估工具可以大大提高评估的效率和准确性,为决策层提供更加科学的依据。

### 2.7 经验总结和知识分享

经验总结和知识分享是井下作业风险评估的重要环节。通过总结历史经验和教训,可以提炼出有效的风险控制措施和应对策略;通过分享知识和经验,可以提高整个团队的风险意识和应对能力。因此,在风险评估过程中,应注重经验总结和知识分享,促进团队之间的学习和交流。

## 3 基于连续油管技术的井下作业风险识别与评价

连续油管技术作为一种高效、灵活的井下作业手段,在石油、天然气开采领域得到了广泛应用。然而,由于其作业的复杂性和特殊性,也存在一系列潜在的风险。

### 3.1 操作风险识别与评价

操作风险是指在连续油管作业过程中,由于操作不当或违反操作规程而导致的安全事故。这类风险可能源于作业人员的技能水平、经验不足,或对作业环境、设备特性的不熟悉。例如,在油管下入或起出过程中,若操作不当,可能导致油管损坏、泄漏,甚至引发井下事

故。针对操作风险,应首先建立完善的操作规程和安全管理制​​度,明确作业步骤、操作要点和安全要求。并且加强作业人员的培训和考核,确保他们具备必要的技能和知识。在作业过程中,还应实施严格的监督和检查,及时发现和纠正违章操作行为。为了量化评估操作风险,可以采用潜在故障模式和影响分析(FMEA)等方法。FMEA通过对作业过程中的各个步骤进行分析,识别出潜在的故障模式,评估其对系统的影响程度,并确定相应的预防措施。这种方法可以帮助我们更加全面地了解操作风险,为制定风险控制措施提供依据。

### 3.2 设备故障风险识别与评价

设备故障风险是指由于设备老化、维护不足或设计缺陷等问题导致的作业中断或安全事故。在连续油管作业中,设备故障可能引发油管断裂、泄漏等严重后果<sup>[3]</sup>。为了降低设备故障风险,应加强对设备的日常维护和保养,定期进行检查和测试,确保设备处于良好的工作状态。同时,对老旧设备进行更新换代,提高设备的可靠性和安全性。在风险评价方面,可以采用故障树分析(FTA)等方法。FTA通过对设备故障的原因进行层层分解,构建故障树模型,找出导致故障发生的根本原因,并评估其对系统的影响程度。这种方法有助于我们更加深入地了解设备故障风险,为制定针对性的预防措施提供指导。

### 3.3 人员安全风险识别与评价

人员安全风险是指由于作业人员未经过专业培训或缺乏安全意识而引发的安全事故。在连续油管作业中,人员安全风险可能表现为违章操作、误操作等行为,进而引发设备损坏、人员伤亡等严重后果。为了保障人员安全,应加强对作业人员的安全教育和培训,提高他们的安全意识和操作技能。同时建立完善的应急响应机制,确保在发生安全事故时能够及时有效地进行救援和处理。在风险评价方面,可以采用作业条件危险性评价(LEC)等方法。LEC通过对作业过程中的危险因素进行分析,评估其发生的可能性、暴露频率和可能造成的后果,从而确定风险等级。这种方法有助于我们更加准确地了解人员安全风险,为制定风险控制措施提供科学依据。

## 4 风险控制措施与建议

连续油管技术作为现代石油开采的重要手段,在提高开采效率和降低成本方面发挥了重要作用。然而,这一技术在实际应用中仍面临着一系列风险,包括操作风险、设备故障风险和人员安全风险等。

### 4.1 加强操作规范培训

操作规范是确保连续油管技术井下作业安全的基

基础。作业人员必须熟练掌握操作技能，了解设备的性能和特点，以避免误操作带来的风险。因此，加强操作规范培训至关重要。第一，应制定详细的操作规程和安全操作指南，明确作业步骤、操作要点和安全要求。这些规程和指南应成为作业人员培训的重要参考。第二，应定期组织作业人员参加专业技能培训，提高他们的操作技能和业务水平。培训内容应包括设备操作、安全知识、应急处理等方面，确保作业人员能够全面了解和掌握相关知识。第三，还应加强对新入职人员的培训，确保他们在上岗前具备必要的技能和知识。同时，对于关键岗位的人员，应进行更为严格和系统的培训，以确保他们具备应对复杂情况的能力。

#### 4.2 定期进行设备检查和维护

设备故障是连续油管技术井下作业中的常见风险之一。为了确保设备的安全和可靠性，我们必须定期进行设备检查和维护。(1)应建立完善的设备管理制度，明确设备检查和维护的周期和要求<sup>[4]</sup>。对于关键设备，应缩短检查和维护周期，以确保及时发现和解决潜在问题。

(2)应加强对设备的日常保养和维护，如润滑、清洁、紧固等，确保设备处于良好的工作状态。同时对于设备的易损件和关键部件，应定期进行检查和更换，避免因部件损坏而导致的设备故障。(3)应加强对设备的性能监测和故障诊断，利用先进的技术手段对设备进行实时监测和分析，及时发现潜在故障并采取相应的措施进行处理。

#### 4.3 提高作业人员的安全意识

安全意识是确保连续油管技术井下作业安全的重要保障。作业人员必须时刻保持警惕，严格遵守安全规定和操作规程，以预防事故的发生。首先，应加强对作业人员的安全教育和培训，提高他们的安全意识和风险识别能力。培训内容应包括安全法规、安全操作规程、应急处理等方面，确保作业人员能够全面了解和掌握相关知识。其次，应定期组织安全演练和应急演练，提高作业人员在面对突发情况时的应变能力和自救互救能力。演练内容应包括火灾、爆炸、泄漏等紧急情况的处理方法，确保作业人员在遇到类似情况时能够迅速作出正确反应。此外，还应加强对作业现场的安全管理和监督，及时发现和纠正违章行为，确保作业现场的安全和秩序。

#### 4.4 采用先进的技术手段降低人员风险

随着科技的不断发展，越来越多的先进技术被应用于石油开采领域。为了降低连续油管技术井下作业中的人员风险，我们可以考虑采用一些先进的技术手段。

(1)可以引入远程操控技术，通过远程控制台对设备进行操控和监测。这样可以减少作业人员在现场操作的风险，提高作业的安全性和效率(如图1)。(2)可以推广智能化作业技术，利用先进的传感器和算法对作业过程进行实时监测和分析。这样可以及时发现潜在风险并采取相应的措施进行处理，从而降低作业过程中的风险。



图1 井控设备组成示意图

#### 结语

连续油管技术在超深井中的应用具有显著优势，但同时也伴随着一定的风险。通过对井下作业风险的识别、评价和控制，可以为连续油管技术的安全应用提供有力保障。未来，随着技术的不断进步和管理的日益完善，相信连续油管技术将更加安全可靠，为石油工业的持续发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]张健.浅谈连续油管技术在井下作业中的应用现状及思考[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(17):179-180.
- [2]蔡孟哲.浅谈连续油管井下作业技术应用及前景展望[J].中国设备工程,2021(12):211-212.
- [3]焦文夫,张宏强,艾白布·阿不力米提,赵签,刘洪雷.连续油管技术在井下作业中的应用现状及优化策略[J].工程技术研究,2020,5(01):91-92.
- [4]段晓军,马新东,牟松,闫宝泉,袁波.连续油管技术在井下作业中的应用及前瞻问题研究[J].化学工程与装备,2018(10):192-193.